



Rhizosheath formation and its effect on potassium uptake in different cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress

Mohammad Javad Almasi¹ | Sareh Nezami² | Mohsen Zarebanadkouki³

1. Soil Science and Engineering Department, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

Email: hmjalmasi@gmail.com

2. Corresponding Author, Soil Science and Engineering Department, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

Email: snezami1981@gmail.com

3. Soil Biophysics and Environmental Systems, Technical University of Munich, Munich, Germany.

Email: mohsen.zare@tum.de

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 9, 2024

Revised: June. 3, 2024

Accepted: June. 8, 2024

Published online: Sep. 2024

Keywords:

Rhizosheath,
Rhizaw,
Sirvan,
Water Deficit.

ABSTRACT

Rhizosheath as a potential adaptive trait can adjust the effects of drought stress by maintaining moisture, and have a positive effect on the uptake of water and nutrients by the plant. The present study was conducted to compare the formation of rhizosheath in different wheat cultivars and its impact on potassium uptake by the plant under drought stress conditions. For this reason, four wheat cultivars, Mihan and Sirvan (irrigated cultivars) and Sadra and Rizhaw (rainfed cultivars) were used. First, the pots were divided into four groups of ten, each group belonging to one cultivar, and in each cultivar, two moisture levels (optimum and stress) were applied. Drought stress started in the pots after plants were established in the soil. After ten weeks, plants were harvested, and separating the rhizosheath of each pot was done. The highest ratio of the rhizosheath dry weight to the root dry weight under stress conditions was observed in Rizhaw (69.22 g/g) and the lowest value was observed in Sadra (60.46 g/g). The highest and lowest value of potassium in the plant under drought stress was obtained in Rizhaw (30.73 mg/pot) and Sirvan (28.73 mg/pot), respectively. The maximum value of available potassium in rhizosheath under drought stress was measured in Mihan (147.45 mg kg⁻¹) and the minimum value in Rizhaw (134.07 mg kg⁻¹). Results showed that the studied cultivars had the same and high ability to form rhizosheath under drought stress conditions. Further studies with different wheat cultivars and other agronomic and horticultural crops are recommended.

Cite this article: Almasi, M. J., Nezami, S., & Zarebanadkouki, M., (2024) Rhizosheath formation and its effect on potassium uptake in different cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (7), 1063-1078.

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374855.669691>



تشکیل رایزوشیت و نقش آن در جذب پتاسیم در ارقام مختلف گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش خشکی

محمد جواد الماسی^۱ | ساره نظامی^۲ | محسن زارع بنادکوکي^۳

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: hmjalmasi@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: snezami1981@gmail.com

۳. گروه بیوفیزیک خاک و سیستم‌های محیطی، دانشگاه صنعتی مونیخ، مونیخ، آلمان. رایانامه: mohsen.zare@tum.de

چکیده

اطلاعات مقاله

رایزوشیت به‌عنوان یک صفت تطبیقی بالقوه می‌تواند اثرات تنش خشکی را با حفظ رطوبت و تاثیر مثبت بر جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه در شرایط تنش خشکی تعدیل کند. مطالعه حاضر با هدف مقایسه تشکیل رایزوشیت در ارقام گندم و اثر آن بر جذب پتاسیم توسط گیاه در شرایط تنش خشکی انجام شد. بدین منظور از چهار رقم میهن و سیروان (ارقام آبی) و صدرا و ریژا (ارقام دیم) استفاده گردید. ابتدا گلدان‌ها به چهار دسته ده‌تایی که هر دسته متعلق به یک رقم بود، تقسیم شدند و در هر رقم نیز دو سطح رطوبتی بهینه و تنش اعمال شد. پس از استقرار گیاهان در خاک اعمال تنش خشکی در گلدان‌ها شروع شد. پس از گذشت ده هفته، عملیات برداشت اندام هوایی و ریشه گیاهان و جداسازی رایزوشیت هر گلدان انجام شد. بیشترین نسبت وزن خشک رایزوشیت به وزن خشک ریشه در شرایط تنش در رقم ریژا (۶۹/۲۲ گرم بر گرم) و کمترین مقدار در رقم صدرا (۶۰/۴۶ گرم بر گرم) مشاهده گردید. بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم گیاه در تنش خشکی به ترتیب در رقم ریژا (۳۰/۷۳ میلی‌گرم بر گلدان) و سیروان (۲۸/۷۳ میلی‌گرم بر گلدان) حاصل شد. بیشترین مقدار پتاسیم قابل دسترس رایزوشیت در تنش خشکی در رقم میهن (۱۴۷/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار در رقم ریژا (۱۳۴/۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، ارقام مطالعه شده توانایی یکسان و بالایی در تشکیل رایزوشیت در شرایط تنش خشکی داشتند. انجام مطالعات بیشتر با ارقام مختلف گندم و سایر گیاهان زراعی و باغی پیشنهاد می‌شود.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۱۹

تاریخ انتشار: مهر ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:

رایزوشیت،

ریژا،

سیروان،

کمبود آب.

استناد: الماسی، محمدجواد، نظامی، ساره، زارع بنادکوکي، محسن، (۱۴۰۳) تشکیل رایزوشیت و نقش آن در جذب پتاسیم در ارقام مختلف گندم (*Triticum aestivum* L.).

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۷)، ۱۰۶۳-۱۰۷۸.

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374855.669691>

مقدمه

تنش خشکی شایع‌ترین تنش محیطی (غیر زنده) است که تقریباً تولید ۲۵ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان را محدود می‌کند. ۸۵ درصد از مساحت ایران را مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل داده است (رحیمی جهانگیرلو، ۱۴۰۰). بنابراین، خشکی و کم آبی در ایران همواره یکی از مهمترین مسائل و مشکلات کشاورزی بوده است (جاجرمی، ۱۳۹۱). تنش خشکی راندمان تولید را در مناطقی که با این پدیده مواجه هستند، به شدت کاهش می‌دهد. علاوه بر اثر منفی بر روی عملکرد، باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها مخصوصاً تنش کمبود عناصر غذایی برای گیاه می‌شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۷). یکی از عناصر غذایی مهم برای گیاهان، پتاسیم است که به مقدار زیاد توسط گیاه جذب می‌شود و حرکت آن در خاک وابسته به رطوبت خاک می‌باشد. مقدار این عنصر در خاک به طور متوسط ۰/۲ تا ۳/۳ درصد می‌باشد و بیشتر در ساختمان کانی‌ها وجود دارد که پس از تجزیه و تخریب، آزاد شده و برای گیاه قابل استفاده می‌شود (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۶). انتقال پتاسیم از خاک به ریشه عمدتاً از طریق انتشار در محلول خاک رخ می‌دهد (Zeng & Brown, 2000). خشکی خاک سرعت انتشار عناصر غذایی از جمله پتاسیم را از محیط خاک به سطح جذب کننده ریشه همراه با کاهش رطوبت خاک، کاهش می‌دهد (پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۲).

گیاهان مکانیسم‌های مختلفی جهت مقابله با اثرات خشکی به منظور بهبود دسترسی به آب و عناصر غذایی دارند. از جمله این مکانیسم‌ها توسعه صفات تطبیقی نظیر تشکیل رایزوشیت^۱ است (Ndour et al., 2020). رایزوشیت لایه‌ای از ذرات خاک است که توسط ترکیبی از تارهای کشنده ریشه، موسیلاژ ترشح شده از ریشه گیاه، موسیلاژ میکروبی و هیف‌های قارچی محکم به سطح ریشه چسبیده است، حتی اگر ریشه از خاک خارج شده و تکان داده شود (Pang et al., 2017; Liu et al., 2019; Ndour et al., 2020; Zhang et al., 2020; Liu et al., 2021; Xu et al., 2022; Cheraghi et al., 2023). تشکیل رایزوشیت در درجه اول بستگی به خصوصیات ریشه نظیر تارهای کشنده و موسیلاژ ریشه دارد (Haling et al., 2014; Carminati et al., 2017; Burak et al., 2021). این دو عامل (تارهای کشنده و موسیلاژ) به یکدیگر وابسته هستند زیرا وجود تارهای کشنده می‌تواند بر آزاد شدن بیشتر موسیلاژ به خاک تاثیر بگذارد (Mo et al., 2023). اما خصوصیات خاک نظیر استحکام، تخلخل و آب خاک نیز می‌تواند بر فرآیند تشکیل آن موثر باشند (Holling et al., 2014; Burak et al., 2021).

موسیلاژ یک ژل به شدت پلیمری شده است که از نوک ریشه ترشح می‌شود. موسیلاژ شامل پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و سلول‌های اپیدرمی ریشه است که می‌تواند ۳۰۰ تا ۵۰۰ برابر وزن خشک خود آب جذب کند (Watt et al., 1994; Carminati et al., 2010; Carminati et al., 2017; Akhtar et al., 2018; Burak et al., 2021). مطالعات نشان داده‌اند که در شرایط خشک موسیلاژ به خاطر ظرفیت بالای نگه‌داشت آب، سبب بهبود تماس مکانیکی و هیدرولیکی بین خاک و ریشه‌ها شده و در نتیجه جذب آب و پخشیدگی عناصر را با سرعت بالاتری حفظ می‌کند (Carminati et al., 2010; Zarebanadkouki et al., 2019; Cheraghi et al., 2023).

McGalley & Boyer (1997) نشان دادند که موسیلاژ ریشه‌های ذرت که هوا خشک شده باشد دارای پتانسیل آب حدود ۱۱- مگاپاسکال است. اما موسیلاژ خشک شده می‌تواند آب را به سرعت جذب کرده و پتانسیل آب خاک را بعد از ۱۲۰ ثانیه به صفر برساند. Read et al. (1999) بیان کردند که موسیلاژ ذرت قادر است که حجم قابل ملاحظه‌ای از آب را در خاکی که نزدیک به ظرفیت زراعی است (حدود ۱۰- کیلوپاسکال) نگهدارد و همینطور دارای حدود ۹۹/۹ درصد آب در پتانسیل ماتریک ۵۰- کیلوپاسکال است. بر اساس نتایج این محققین زمانی که پتانسیل آب موسیلاژ از ۲۰- کیلو پاسکال به ۴۰- کیلوپاسکال کاهش یافت، کشش سطحی آن به‌طور چشمگیری کاهش یافت (از ۷۲ میلی‌نیوتن بر متر تا ۴۸ میلی‌نیوتن بر متر). کاهش کشش سطحی موسیلاژ در خاک خشک می‌تواند تاثیر زیادی بر جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه از طریق حفظ شیب هدایت هیدرولیکی و حلالیت ماده حل شونده بین سطح ریشه و خاک دور از ریشه داشته باشد. Zarebanadkouki et al. (2019) گزارش کردند که موسیلاژ در غلظت ۲/۵ میلی گرم در گرم ریشه از کاهش چشمگیر سرعت پخشیدگی پتاسیم در خاک جلوگیری کرد. این امر منجر به سرعت پخشیدگی بالاتر پتاسیم در رنج وسیع‌تری از مقدار رطوبت خاک شد.

Basirat et al. (۲۰۱۹) میزان تشکیل رایزوشیت را در هشت رقم گندم آبی و دیم مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که ارقام با رایزوشیت بیشتر مقدار تعرق بالاتری در شرایط تنش خشکی داشتند. در حالی که ارقام با رایزوشیت کمتر از تنش خشکی رنج بردند و در



شرایط رطوبتی یکسان زودتر به نقطه پژمردگی دائم رسیدند. در مطالعه‌ای دیگر Cheraghi et al. (۲۰۲۴) اثر کاربرد سیلیسیوم (Si) را بر تشکیل رایزوشیت و کاهش اثرات تنش خشکی در گندم بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که تحت تنش خشکی، مصرف سیلیسیوم طول تار کشنده، دانسیته ریشه، تشکیل رایزوشیت و مقدار تعرق را به طور معنی‌داری افزایش داد. بر اساس نتایج، مصرف ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم منو سیلیسیک اسید و نانو سیلیس میزان تشکیل رایزوشیت را به ترتیب ۴۰/۳، ۴۸/۲، ۱۶/۸ و ۱۷/۵ درصد افزایش دادند.

بر اساس نتایج مطالعات پیشین تشکیل رایزوشیت می‌تواند به گیاهان در دسترسی بهتر به آب و عناصر غذایی در شرایط خشک کمک نماید و بقای آنها را در شرایط تنش خشکی افزایش دهد. با توجه به اهمیت گندم به عنوان یک گیاه استراتژیک و نیز اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، پژوهش موردنظر انجام شد تا تشکیل رایزوشیت را در ارقام گندم آبی و دیم بررسی کند و نقش آن را بر جذب پتاسیم توسط گیاه تحت تنش خشکی مطالعه نماید.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی خاک و بذره‌های گندم

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در طول سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. در این پژوهش از خاکی استفاده شد که دارای کمبود پتاسیم بود و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری گردید. خاک موردنظر پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شد. رقم‌های گندم مورد استفاده شامل دو رقم آبی (سیروان و میهن) و دو رقم دیم (صدرا و ریژآو) بودند که از بانک بذر گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی و مرکز دیم سرارود در کرمانشاه تهیه شدند.

آنالیز اولیه خاک

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934)، درصد کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی (Richards, 1947)، پ‌هاش و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره حاصل از گل اشباع (Black et al., 1965)، نیتروژن کل خاک به روش کج‌لدال (Anderson, 2009)، فسفر قابل دسترس به روش اولسن (Olsen et al., 1954) و پتاسیم قابل دسترس به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (Helmke & Sparks, 1996) تعیین شدند.

آماده‌سازی گلدان‌ها در گلخانه

ابتدا مقدار ۱۲۰۰ گرم خاک در گلدان‌های ۱۵۰۰ گرمی ریخته شد. سپس، گلدان‌ها به چهار دسته ده‌تایی که هر دسته متعلق به یک رقم بود، تقسیم شده و هر دسته ده‌تایی به دو دسته پنج‌تایی (۵ عدد گلدان‌های تحت تنش خشکی و ۵ عدد گلدان‌های با سطح بهینه رطوبتی) تقسیم شدند. در هر گلدان حدود ۱۲ عدد بذر که از چند روز قبل توسط وایتکس ۱۰ درصد ضدعفونی و در پتری دیش‌های شیشه‌ای شروع به جوانه‌زنی کرده بودند، کشت شد. همه گلدان‌ها هر ۳ الی ۴ روز یکبار به رطوبت وزنی ۲۰ درصد رسانده می‌شدند. پس از گذشت دو هفته از استقرار و رشد گیاهان، عملیات تنک کردن انجام شد و تعداد بوته‌های داخل هر گلدان به ۸ بوته کاهش پیدا کرد و سطح خاک هر گلدان توسط ۲۰۰ گرم سنگریزه برای جلوگیری از تبخیر آب پوشانده شد.

اعمال تنش خشکی

در هفته سوم و پس از استقرار کامل بوته‌های گندم در هر گلدان، اعمال تنش خشکی شروع شد. به این صورت که ابتدا همه گلدان‌ها به سطح رطوبتی بهینه (۲۰ درصد وزنی) رسانده شدند. پس از گذشت چند روز همه گلدان‌ها وزن شدند. در تیمارهای بدون تنش (بهینه) مقدار آب از دست رفته برای رسیدن به سطح رطوبتی ۲۰ درصد اضافه شد و در تیمارهای تحت تنش نصف مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن به سطح بهینه اضافه گردید. این روش هر ۳ تا ۴ روز یکبار در طی دو هفته تکرار شد تا میزان تعرق آب در گیاهان تحت تنش خشکی به نصف گیاهان بهینه رسید. میزان تعرق گیاه به روش وزنی با فرض قابل صرفنظر بودن تبخیر آب از خاک و رشد گیاه محاسبه گردید. در ادامه مقدار معین و ثابتی آب برای گلدان‌های تحت تنش هر رقم تعیین شد که معادل نصف آب از دست رفته گلدان‌های بدون تنش آن رقم بود. این روند آبیاری تا زمان برداشت گیاهان و جداکردن رایزوشیت ادامه پیدا کرد.

تعیین تعرق مربوط به هر رقم

در پنج روز پایانی قبل از برداشت، همه گلدان‌ها دو نوبت در روز (۹ صبح و ۳ بعد از ظهر) وزن شدند. بر این اساس نمودار نرخ تعرق مربوط به هر رقم برحسب تعرق بر ساعت بر روز رسم شد (Basirt et al., 2019).

برداشت رایزوشیت، بخش هوایی و ریشه گیاهان، آماده‌سازی آنها و تعیین ویژگی‌های موردنظر

پس از گذشت ده هفته از کاشت بذر، عملیات برداشت رایزوشیت هر گلدان و جداسازی اندام هوایی و ریشه گیاهان انجام شد. رایزوشیت با دقت بسیار زیاد از ریشه‌ها توسط فرچه جدا شد و در آون و دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید (Basirt et al., 2019). بخش هوایی و ریشه‌های جدا شده به آزمایشگاه منتقل شده و با آب معمولی و آب مقطر شسته شده و وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. سپس، در آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و در ادامه وزن خشک آنها نیز تعیین شد. اندام هوایی و ریشه گیاهان پس از خشک شدن آسیاب شده و برای اندازه‌گیری پتاسیم آماده شدند. در نهایت ویژگی‌هایی که اندازه‌گیری شدند شامل وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی، وزن خشک رایزوشیت، پتاسیم موجود در رایزوشیت به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (Helmke & Sparks, 1996) و پتاسیم موجود در اندام هوایی و ریشه گیاهان به روش هضم خشک (Chapman & Pratt, 1961) با دستگاه فلیم فتومتر ساخت شرکت فاطر الکترونیک، مدل 405G بودند. بر اساس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده فاکتورهایی نظیر نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه و وزن خشک رایزوشیت به وزن خشک ریشه تعیین شدند.

بررسی میزان تشکیل سیستم ریشه‌ای و رایزوشیت ارقام مختلف

Basirt et al. (۲۰۱۹) به این نتیجه رسیدند که برای بدست آوردن وزن خشک رایزوشیت بر اساس طول ریشه نمی‌توانند ریشه‌های داخل هر گلدان را که تقریباً ۴۷ روز سن داشتند به دلیل درهم تنیده شدن در یکدیگر، تفکیک و طول آنها را برای محاسبه وزن خشک رایزوشیت به طول ریشه بدست آورند. بنابراین، وزن خشک رایزوشیت را براساس وزن خشک زیست توده ریشه گزارش کردند، که نسبت به طول ریشه از دقت کمتری برخوردار است. در این مطالعه همزمان با انجام آزمایش اصلی یک آزمایش جانبی در ظروف کوچکتر و با تعداد یک عدد بوته انجام شد. در این آزمایش از ۱۵۰ گرم خاک در ظروف ۲۵۰ گرمی و ۱ عدد بذر برای هر ظرف استفاده شد. هر رقم دارای سه تکرار بود. در ابتدا بعد از کاشتن بذر، رطوبت وزنی هر ظرف به ۲۰ درصد وزنی رسانده شد و پس از گذشت ۱۴ روز بدون آبیاری، بوته‌ها از داخل ظروف خارج شدند. رایزوشیت مربوط به هر بوته با نهایت دقت از ریشه‌ها جدا و داخل پتری‌دیش‌های شیشه‌ای ریخته شد. برای بدست آوردن وزن خشک رایزوشیت، پتری‌دیش‌ها در داخل آون در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت گذاشته شدند. برای محاسبه طول ریشه‌ها، ریشه‌های مربوط به هر بوته همراه با یک سکه بر روی یک صفحه با پس‌زمینه سفید قرار داده شدند و یک صفحه از جنس شیشه برای ثابت نگه‌داشتن ریشه‌ها و سکه، بر روی آنها قرار گرفت و عکس‌برداری از آنها انجام شد. به کمک نرم‌افزار Adobe Photoshop CC 2019 ریشه‌ها و سکه داخل هر عکس رنگ‌آمیزی و با استفاده از نرم‌افزار ImageJ طول ریشه‌های داخل هر عکس برحسب سانتی‌متر محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

این مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار انجام شد. فاکتورها شامل رطوبت در دو سطح (بهبینه و تنش خشکی) و ارقام گندم چهار نوع (آبی و دیم) بودند. نتایج بدست آمده از پژوهش توسط نرم‌افزار آماری SAS 9.4 آنالیز شدند. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، مقایسه میانگین آنها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث**ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک**

جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش انجام شده را نشان می‌دهد. مقدار قابلیت هدایت الکتریکی برابر ۰/۴۱ دسی‌زیمنس بر متر نشان دهنده این است که خاک شور نمی‌باشد. درصد کربن آلی خاک برابر ۰/۹۶ درصد بوده که مشابه اکثر خاک‌های کشور کمتر از ۱ درصد می‌باشد (سماوات، ۱۳۸۷). با توجه به مقدار pH (۷/۳۰) و درصد کربنات کلسیم (۷/۵۰ درصد)، این خاک حاوی آهک است. مقدار نیتروژن و فسفر قابل دسترس به ترتیب برابر ۰/۰۹ درصد و ۱۸/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که بر اساس مقادیر

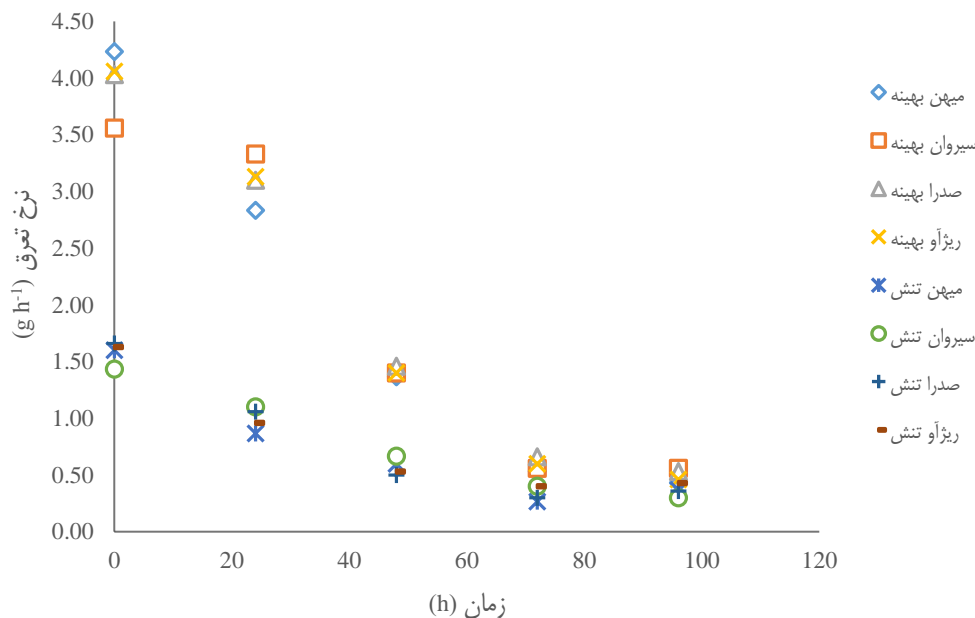
مطلوب این عناصر در خاک، در محدوده نرمال می‌باشند (ملکوتی، ۱۳۹۳). میزان پتاسیم قابل دسترس این خاک برابر ۱۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. این خاک دارای کمبود پتاسیم و مناسب برای انجام پژوهش موردنظر بود (ملکوتی، ۱۳۹۳). بافت خاک نیز لوم رسی شنی بود.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه

پارامتر	pH	EC (dS m ⁻¹)	کربن آلی (%)	کربنات کلسیم (%)	نیترژن کل (%)	فسفر قابل دسترس (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس (mg kg ⁻¹)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت
مقدار	۷/۳۰	۰/۴۱	۰/۹۶	۷/۵۰	۰/۰۹	۱۸/۳۰	۱۲۸	۵۶	۲۲	۲۲	SCL

نرخ تعرق

شکل ۱ میانگین نرخ تعرق روزانه ارقام مختلف را طی خشک شدن خاک در شرایط بهینه رطوبتی و تنش خشکی نشان می‌دهد. نرخ تعرق محاسبه شده مربوط به زمان بین دو اندازه‌گیری است. بیشترین میزان نرخ تعرق در سطح رطوبتی بهینه مربوط به رقم صدرا (۱/۹۵ گرم بر ساعت) و کمترین میزان مربوط به رقم آبی میهن (۱/۸۷ گرم بر ساعت) بود. در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار نرخ تعرق در رقم دیوم ریژآو (۰/۷۹ گرم بر ساعت) و کمترین مقدار در رقم آبی میهن (۰/۷۴ گرم بر ساعت) اندازه‌گیری شد (شکل ۱).



شکل ۱. نرخ تعرق ارقام مختلف با زمان در شرایط رطوبتی متفاوت

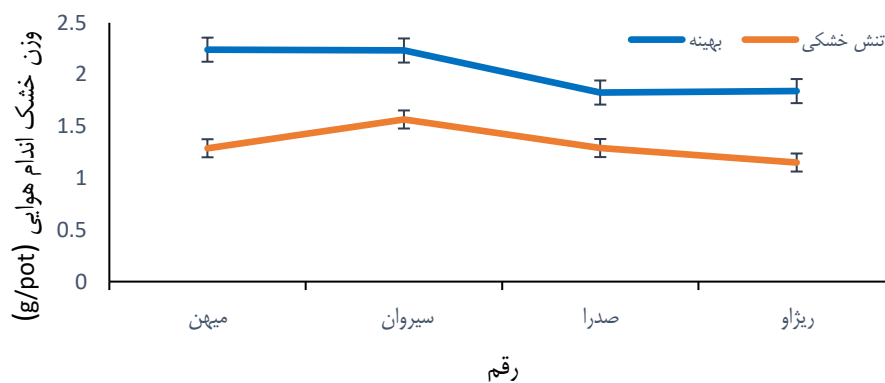
همانطور که مشاهده می‌شود در تمامی ارقام نرخ تعرق بیشترین مقدار را بلافاصله بعد از آبیاری داشته و سپس با گذشت زمان و خشک شدن خاک این مقدار کاهش یافته است و در نهایت مقدار تعرق در هر دو سطح رطوبتی به هم نزدیک شده است. کاهش تعرق در شرایط رطوبتی بهینه با شیب بیشتری نسبت به شرایط تنش کاهش یافته است. همچنین، نرخ تعرق در تمامی ارقام در شرایط بهینه و تنش بسیار به هم نزدیک است و تفاوتی با یکدیگر ندارند (شکل ۱). در این مطالعه همه ارقام نرخ تعرق تقریباً مشابهی در شرایط تنش خشکی داشتند. به نظر می‌رسد که این امر به دلیل توانایی تشکیل ریزوشیت تقریباً یکسان و بالا در آنها باشد (شکل ۲).



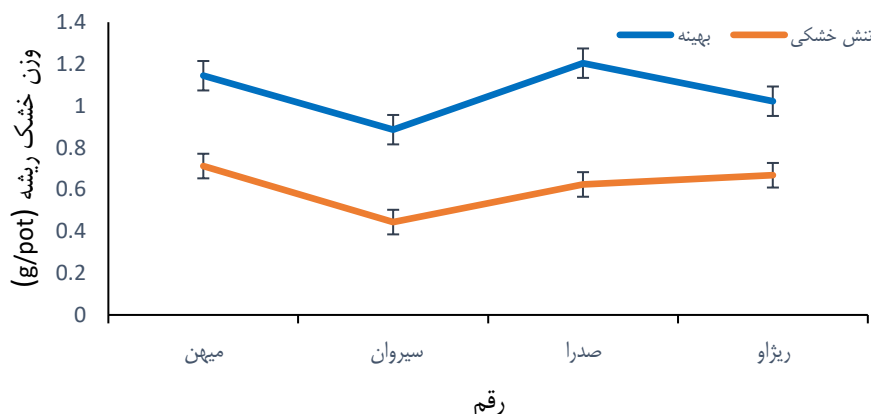
شکل ۲. میزان تشکیل رایزوشیت ارقام مختلف در مدت دو هفته

وزن خشک اندام هوایی و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و سطح رطوبتی بر وزن خشک اندام هوایی معنی دار بود، اما اثر متقابل آن‌ها معنی دار نشد ($p < 0.01$). بر اساس نتیجه مقایسه میانگین بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در سطح رطوبتی بهینه متعلق به رقم میهن (۲/۲۴ گرم بر گلدان) و کمترین مقدار مربوط به رقم صدرا (۱/۸۲ گرم بر گلدان) بود. همچنین، بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در تنش خشکی مربوط به رقم سیروان (۱/۵۶ گرم بر گلدان) و کمترین مقدار در رقم ریژآو (۱/۱۵ گرم بر گلدان) اندازه‌گیری شد. در سطح رطوبتی بهینه بین ارقام آبی (میهن و سیروان) و ارقام دیم (صدرا و ریژآو) تفاوت معنی دار وجود داشت. اما در تنش خشکی تنها رقم سیروان با باقی ارقام تفاوت معنی دار داشت. شکل ۳ روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی را در ارقام مختلف در دو سطح رطوبتی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی در هر دو سطح رطوبتی تقریباً یکسان است و بیشترین تفاوت وزن خشک اندام هوایی در هر دو سطح رطوبتی در رقم میهن مشاهده می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. وزن خشک اندام هوایی گیاه در ارقام و سطوح رطوبتی مختلف.

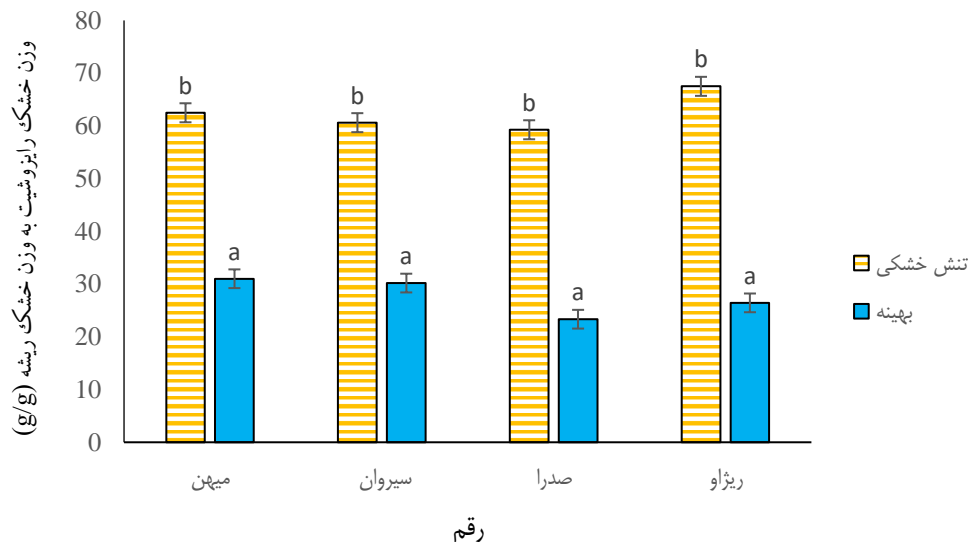


شکل ۴. وزن خشک ریشه گیاه در ارقام و سطوح رطوبتی مختلف.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر رقم و سطح رطوبتی بر وزن خشک ریشه معنی دار بود، اما اثر متقابل آن‌ها معنی دار نشد (۰/۰۱ < p). بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در سطح رطوبتی بهینه متعلق به رقم صدرا (۱/۲ گرم بر گلدان) و کمترین مقدار مربوط به رقم سیروان (۰/۸۸ گرم بر گلدان) بود. بیشترین میزان وزن خشک ریشه در تنش خشکی متعلق به رقم میهن (۰/۷۱ گرم بر گلدان) و کمترین مقدار مربوط به رقم سیروان (۰/۴۴ گرم بر گلدان) بود. بر اساس این نتایج بین ارقام آبی و دیم در سطح رطوبتی بهینه تفاوت معنی دار وجود داشت، اما در تنش خشکی تنها رقم سیروان با باقی ارقام تفاوت معنی دار داشت. همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود روند تغییرات وزن خشک ریشه ارقام مختلف در دو سطح رطوبتی یکسان بوده و بیشترین تفاوت بین وزن خشک ریشه در دو سطح رطوبتی در رقم صدرا مشاهده می‌شود (شکل ۴).

نسبت وزن خشک رایزوشیت به وزن خشک و طول ریشه

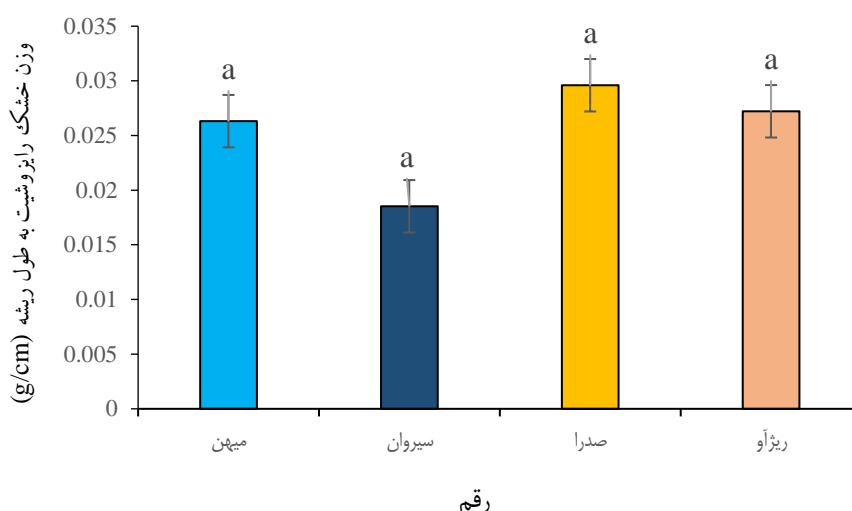
بر اساس نتایج مقایسه میانگین نسبت وزن خشک رایزوشیت به وزن خشک ریشه در دو سطح رطوبتی و تنش در ارقام مختلف تفاوت معنی دار آماری نداشتند. بیشترین مقدار این نسبت در سطح رطوبتی بهینه متعلق به رقم میهن (۳۱/۲ گرم بر گرم) و کمترین مقدار مربوط به رقم صدرا (۲۳/۳۶ گرم بر گرم) بود. بیشترین مقدار در تنش خشکی متعلق به رقم ریژا و (۶۹/۲۲ گرم بر گرم) و کمترین مقدار مربوط به رقم صدرا (۶۰/۴۶ گرم بر گرم) بود (شکل ۵).



شکل ۵. نسبت وزن خشک رایزوشیت به وزن خشک ریشه در ارقام و سطوح رطوبتی مختلف. ستون‌های با حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است. بارهای روی ستون‌ها انحراف معیار را نشان می‌دهند.

همانطور که مشاهده می‌شود زمانی که گیاهان در شرایط تنش خشکی قرار گرفته اند به ازاء یک گرم ریشه حدود دو برابر رایزوشیت بیشتری ایجاد کرده‌اند. این امر نشان می‌دهد که تنش خشکی وارد شده به گیاهان، گیاه را مجبور به تشکیل رایزوشیت بیشتر برای مقابله با اثرات منفی حاصل از تنش خشکی و حفظ بقاء در این شرایط کرده است. همچنین، در این شرایط گیاهان بخش بزرگتری از کربن خود را برای تشکیل رایزوشیت سرمایه‌گذاری کرده‌اند. باتوجه به عدم وجود اختلاف معنی دار در تمامی ارقام در شرایط تنش خشکی هر چهار رقم قدرت تشکیل رایزوشیت بالایی دارند.

همانطور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، در این پژوهش آزمایش جانبی در کنار آزمایش اصلی برای تعیین نسبت وزن خشک رایزوشیت به طول ریشه طراحی شد. این آزمایش در مقیاسی کوچک‌تر، تنها زمانی که بوته‌های گندم ۱۴ روز سن داشتند و ریشه‌های آن‌ها در هم تنیده نشده بود، انجام شد. در این زمان شرایط برای اندازه‌گیری طول ریشه‌ها فراهم بود (روش اندازه‌گیری طول ریشه‌ها در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شده است). بنابراین، وزن خشک رایزوشیت بر اساس طول ریشه بر حسب سانتی‌متر در ارقام مختلف تعیین شد (شکل ۶).

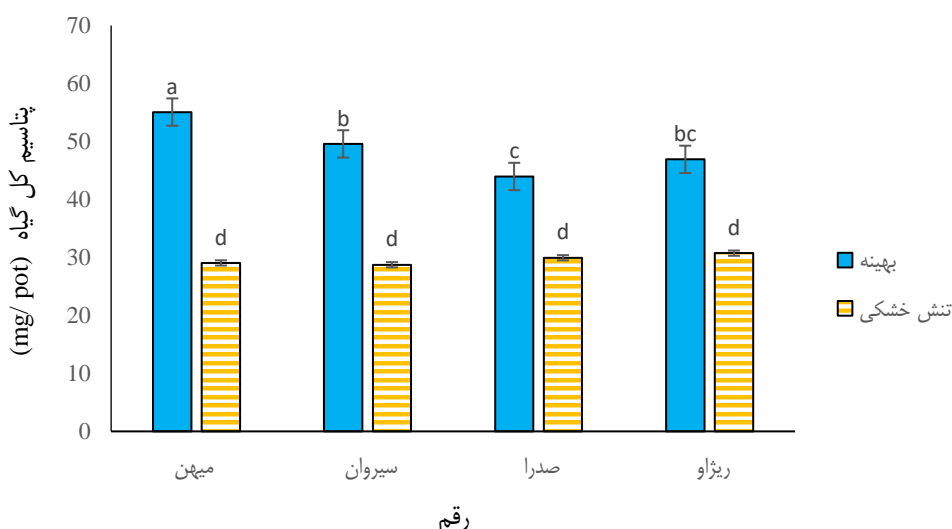


شکل ۶. نسبت وزن خشک رایزوشیت به طول ریشه. ستون‌های با حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است. بارهای روی ستون‌ها انحراف معیار را نشان می‌دهند.

براساس نتایج بدست آمده در این بخش (شکل ۶)، وزن خشک رایزوشیت چه براساس وزن خشک ریشه باشد و چه براساس طول ریشه، بین ارقام (میهن، سیروان، صدرا و ریژآو) تفاوت معنی‌داری از نظر تشکیل رایزوشیت وجود نداشت و مجدداً این نتیجه تایید می‌شود که تمام ارقام توانایی تشکیل رایزوشیت تقریباً یکسانی داشتند. بر اساس عکس‌هایی هم که از رایزوشیت ارقام مختلف تهیه شد با چشم می‌توان تشخیص داد که تمام ارقام رایزوشیت تقریباً یکسانی تولید کرده‌اند (شکل ۱). این نتایج با نتایج حاصل از نرخ تعرق نیز همخوانی داشت.

پتاسیم کل گیاه

براساس نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین مقدار پتاسیم کل در سطح رطوبتی بهینه در رقم آبی میهن (۵۵/۰۶ میلی‌گرم بر گلدان) و کمترین مقدار برای رقم دیم صدرا (۴۳/۹۶ میلی‌گرم بر گلدان) حاصل شد. بیشترین مقدار پتاسیم کل در تنش خشکی متعلق به رقم دیم ریژآو (۳۰/۷۳ میلی‌گرم بر گلدان) و کمترین مقدار متعلق به رقم آبی سیروان (۲۸/۷۳ میلی‌گرم بر گلدان) بود (شکل ۷).

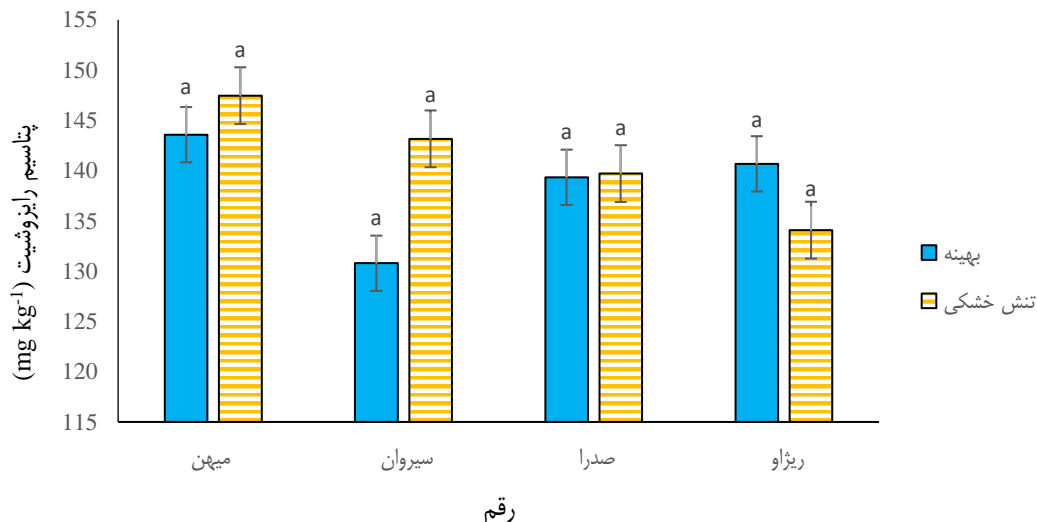


شکل ۷. پتاسیم کل گیاه در ارقام و سطوح رطوبتی مختلف. ستون‌های با حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است. بارهای روی ستون‌ها انحراف معیار را نشان می‌دهند.

با توجه به نتایج بیان شده، مقدار کل پتاسیمی (اندام هوایی + ی ریشه) که این ارقام در مجموع توانسته‌اند از خاک جذب کنند، در سطح رطوبتی بهینه بیشتر از سطح رطوبتی تنش خشکی می‌باشد. در سطح رطوبتی بهینه ارقام آبی بیشترین مقدار را داشتند و در تنش خشکی هیچ تفاوت معناداری دیده نمی‌شود. انتظار می‌رفت ارقام دیم در شرایط تنش خشکی بنا به ژنتیک خود که مختص رشد و بقاء در شرایط کم آبی است ریزوشیت بیشتر و به دنبال آن جذب پتاسیم بالاتری نسبت به ارقام آبی داشته باشند. اما با توجه به نتایج بدست آمده در میزان تشکیل ریزوشیت ارقام که در مباحث قبل تر نیز به آن اشاره شد، این نتیجه به دست آمد که بین ارقام دیم و آبی از لحاظ تشکیل ریزوشیت در شرایط تنش خشکی تفاوت معناداری وجود نداشت و همگی توانایی یکسانی در تشکیل ریزوشیت داشتند که به دنبال آن در جذب پتاسیم نیز توانسته بودند در این سطح رطوبتی، یکسان عمل کنند و تفاوت معنی داری بین ارقام دیده نشود.

پتاسیم قابل دسترس در ریزوشیت

نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد هر چند ارقام تفاوت معنی داری از نظر پتاسیم قابل دسترس در ریزوشیت نداشتند اما، بیشترین مقدار این پارامتر در سطح رطوبتی بهینه مربوط به رقم آبی میهن (۱۴۳/۵۷ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار در این سطح رطوبتی متعلق به رقم آبی سیروان (۱۳۰/۸۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بود. بیشترین مقدار پتاسیم ریزوشیت در تنش خشکی در رقم آبی میهن (۱۴۷/۴۵ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار در رقم دیم ریژاو (۱۳۴/۰۷ میلی گرم بر کیلوگرم) اندازه گیری شد (شکل ۸).



شکل ۸. پتاسیم ریزوشیت در ارقام و سطوح رطوبتی مختلف. ستون‌های با حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است. بارهای روی ستون‌ها انحراف معیار را نشان می‌دهند.

بحث

نرخ تعرق

در بخش نتایج مشاهده شد که نرخ تعرق ارقام در شرایط رطوبتی بهینه و تنش خشکی تقریباً یکسان بوده و تفاوت معنی داری با هم نداشتند. به طور کلی ارقامی که دارای توانایی تشکیل ریزوشیت بیشتر و قوی‌تری هستند می‌توانند مقدار تعرق بیشتری را در شرایط تنش خشکی نگه دارند در حالی که ارقام با ریزوشیت کمتر از استرس خشکی رنج برده و مقدار تعرق را کاهش می‌دهند (Basirat et al., 2019). با توجه به نتایج به دست آمده در این مطالعه به نظر می‌رسد که تمامی ارقام از توانایی یکسانی برای تشکیل ریزوشیت و مقاومت به خشکی برخوردار بودند.

وزن خشک اندام هوایی و ریشه

به طور کلی گیاهان مکانیسم‌های مختلفی برای مقابله با تنش خشکی دارند از قبیل: تعدیل نسبت بخش هوایی به ریشه، گسترش سیستم ریشه‌ای بزرگتر و تشکیل ریزوشیت بزرگتر یا قوی‌تر (Sharp et al., ; Lynch, 2013; Fang & Xiong, 2015; Cheraghi et al., 2023). (2004).

در این مطالعه انتظار می‌رفت که ارقام بخصوص ارقام دیم در شرایط تنش خشکی وزن خشک ریشه بیشتری نسبت به شرایط بهینه رطوبتی تولید کنند. اما مشاهده شد که وزن خشک ریشه در شرایط تنش کمتر از شرایط بهینه بود. علاوه بر آن ارقام دیم با رقم میهن که رقم آبی بود تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند. اگر چه تمامی ارقام وزن خشک ریشه کمتری در شرایط تنش تولید کردند، اما ملاحظه شد که نرخ تعرق همه آنها یکسان بوده و توانسته‌اند در شرایط تنش رشد خود را حفظ کرده و پژمرده نشوند. به نظر می‌رسد که این امر اهمیت تشکیل رایزوشیت را در مقایسه با طول ریشه در مقاومت به خشکی نشان می‌دهد.

نسبت وزن خشک رایزوشیت به وزن و طول ریشه

برای مقایسه تشکیل رایزوشیت بین ارقام مختلف گیاه وزن رایزوشیت چسبیده به سیستم ریشه‌ای باید براساس اندازه سیستم ریشه، قبل از اینکه سایر پارامترها نظیر تارهای کشنده ریشه و کمیت و کیفیت ترشحات ریشه در نظر گرفته شوند، نرمال شود (Delhiz et al., 2015; Peng et al., 2017; Oburger and Jones, 2018). باتوجه به نقش رایزوشیت در جذب آب ریشه، ضخامت آن و حضور یکنواخت آن در طول منطقه فعال جذب آب ریشه اهمیت بیشتری نسبت به وزن کل آن در گیاه دارد (Peng et al., 2017). به طور کلی طول یا سطح سیستم ریشه‌ای از بهترین پارامترها برای نرمال کردن هستند (Delhiz et al., 2015). در این مطالعه ابتدا نسبت وزن خشک رایزوشیت به وزن خشک ریشه تعیین شد. همانطور که در بخش نتایج ذکر گردید ارقام در شرایط تنش مقدار رایزوشیت بیشتری تولید کردند. همانطور که اشاره شد در مطالعه دیگری نسبت وزن خشک رایزوشیت به طول ریشه در ارقام مختلف محاسبه شد و نتایج مشابهی به دست آمد.

Watt et al. (1994) نشان دادند که حجم رایزوشیت تشکیل شده در خاک خشک و مرطوب به ترتیب ۵ و ۱/۵ برابر حجم ریشه بود. همچنین، ضخامت رایزوشیت تشکیل شده در خاک خشک سه برابر رایزوشیت تشکیل شده در خاک مرطوب بود. مقدار تارهای کشنده ریشه نیز در شرایط خشک حدود ۴/۵ برابر فراوان‌تر بوده و بیشتر درهم تنیده شده بودند. (Delhaiz et al., 2012) همبستگی بسیار قوی بین طول تار کشنده ریشه و وزن رایزوشیت در گندم را نشان دادند و بیان کردند که طول تارهای کشنده مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده اندازه رایزوشیت در گندم هستند (Dalhiz et al., 2015). George et al. (2014) بیان کردند که رابطه ضعیفی بین وزن رایزوشیت و طول تارهای کشنده در جو وجود داشت. Brown et al. (2017) نشان دادند که رابطه همبستگی بین طول تارهای کشنده و رایزوشیت به‌جز زمانی که تارهای کشنده بسیار ریز بودند، وجود نداشت. اما حضور تارهای کشنده برای تشکیل رایزوشیت نیاز بود. بر اساس نتایج Burak et al. (2021)، تارهای کشنده به طور معنی‌داری تشکیل رایزوشیت را در همه گونه‌های مورد مطالعه افزایش دادند. همچنین، بیان کردند که تفاوت در خصوصیات فیزیکی تارهای کشنده (طول و دانسیته) اغلب تفاوت در تشکیل رایزوشیت را بین گونه‌های مختلف توضیح می‌دهد.

پتاسیم کل گیاه

همانطور که پیش‌تر هم بیان شد رایزوشیت به عنوان یک عامل کلیدی می‌تواند نقش مهمی در جذب عناصر غذایی ایفا کند (Watt et al., 1994; Pang et al., 2017). به نظر می‌رسد که گیاهان رایزوشیت را با هزینه فیزیولوژیکی بالایی (کربن فتوسنتزی) به عنوان یک مکانیسم تطابق ایجاد می‌کنند. افزایش سطح رطوبتی به خصوصیت هیگروسکوپیکی (وابسته به رطوبت) به موسیلاژ نسبت داده می‌شود و این مشخصه نقش بسیار مهمی در تحرک و جذب عناصر غذایی و آب بازی می‌کند (Albalasmeh & Ghezzehei, 2013).

نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار پتاسیم جذب شده در گیاه در شرایط بهینه به دلیل رطوبت بیشتر و افزایش پخشیدگی یون پتاسیم بیشتر از شرایط تنش خشکی بود. اما در شرایط خشکی نیز میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاه در حد مطلوب بود (بین ۱ تا ۵ درصد وزن خشک) (ملکوتی، ۱۳۹۳) (داده‌ها آورده نشده‌اند). با توجه به کمبود پتاسیم اولیه در خاک انتظار می‌رفت که گیاه با کمبود پتاسیم به خصوص در شرایط خشک مواجه باشد اما کمبودی مشاهده نگردید. همچنین، با توجه به نتایج پتاسیم رایزوشیت که در شرایط تنش خشکی با شرایط بهینه تفاوتی نداشت و نسبت به پتاسیم اولیه خاک هم بالاتر بود، وجود حد مطلوب پتاسیم در گیاه در شرایط تنش توجیه می‌شود.

خشک شدن خاک پخشیدگی عناصر در خاک را کاهش می‌دهد. زمانی که خاک خشک می‌شود سطح مقطع فاز مایع موجود برای پخشیدگی کاهش یافته در حالی که اعوجاج مسیر جریان افزایش می‌یابد. این دو فرآیند پخشیدگی را محدود می‌کنند. موسیلاژ به خاطر ظرفیت بالای نگه‌داشت آب و بنابراین، حفظ سرعت بالاتر انتقال و پخشیدگی عناصر (Carminati et al., 2010; Zarebanadkouki et al., 2019) و تغییر موقعیت فضایی فاز مایع و اتصال آن در خاک خشک (اتصال هیدرولیکی بین خاک و ریشه‌ها) بر پخشیدگی عناصر تاثیر دارد. این امر به خاطر خصوصیات بی‌همتای موسیلاژ نظیر جذب آب، ویسکوسیتی بالا و کاهش کشش سطحی است (Carminati et al., 2019).



پتاسیم با یکدیگر مقایسه شوند و در نهایت بیان شود کدام رقم بهتر بوده است. بلکه هدف اصلی این بود که آیا رایزوشیت می‌تواند در جذب بیشتر پتاسیم به گیاه در شرایط تنش خشکی کمک کند یا نه؟ که با توجه به نتایج به دست آمده این امر محقق شده است.

پتاسیم قابل دسترس در رایزوشیت

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه غلظت پتاسیم در خاک رایزوشیت در شرایط تنش خشکی با شرایط بهینه تفاوت معنی‌داری نداشت و حتی در برخی ارقام بیشتر بود. همچنین، غلظت آن نسبت به پتاسیم اولیه خاک بالاتر بود. فرض بر این است که تشکیل رایزوشیت در اطراف ریشه باعث حفظ رطوبت آن ناحیه نسبت به توده خاک اطراف آن می‌شود و به دنبال آن پتاسیم بیشتری در ناحیه رایزوشیت نسبت به خاک اطراف، تجمع پیدا می‌کند (Bernard et al., 2019). یک احتمال دیگر نیز وجود دارد که بخاطر خواص شیمیایی و بیولوژیکی خاصی که رایزوشیت نسبت به خاک اطراف خودش دارد، توانسته باعث آزادسازی مقداری از پتاسیم غیرتبادلی و انتقال آن به فاز تبادلی شود (Pinton et al., 2001; Wen et al., 2021). جمعیت زیاد و متنوعی از میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه نظیر باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن نیز در رایزوشیت وجود دارند که می‌توانند قابلیت دسترسی عناصر را با مکانیسم‌های مختلفی افزایش دهند (Liu et al., 2019; Marasco et al., 2018).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج، میزان تشکیل رایزوشیت در ارقام گندم آبی و دیم در شرایط تنش خشکی تقریباً یکسان بود. به نظر می‌رسد این ارقام به دلیل توانایی یکسان در تشکیل رایزوشیت، نرخ تعرق نزدیک به هم در شرایط تنش خشکی داشتند. ارقام گندم در شرایط تنش به ازاء یک گرم ریشه حدود دو برابر رایزوشیت بیشتری ایجاد کردند. این امر نشان می‌دهد که تنش خشکی وارد شده به گیاهان، گیاه را مجبور به تشکیل رایزوشیت بیشتر برای مقابله با اثرات منفی حاصل از تنش خشکی و حفظ بقاء در این شرایط کرده است. مقدار پتاسیم جذب شده نیز توسط ارقام مختلف در شرایط تنش خشکی تقریباً یکسان بود. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که رایزوشیت می‌تواند به عنوان یک ویژگی پتانسیلی گیاه نقش مهمی در مقاومت به خشکی گیاهان داشته باشد. انجام مطالعات بیشتر با سایر ارقام گندم و گیاهان زراعی و باغی پیشنهاد می‌شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- پیرزاد، علیرضا؛ شکیبیا، محمد رضا؛ زهتاب سلماسی، سعید و محمدی، سید ابوالقاسم. (۱۳۹۲). تاثیر تنش آبی بر میزان جذب برخی عناصر غذایی در بابونه آلمانی. *نشریه زراعت*، ۲۸ (۱۰۶)، ۷-۱.
- جاجرمی، وحید. (۱۳۹۱). بررسی اثر تنش خشکی بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی ۷ رقم گندم. *مجله زراعت و اصلاح نباتات*، ۸ (۴)، ۱۹۲-۱۸۳.
- خوشگفتارمنش، امیرحسین. (۱۳۸۶). *ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای گیاه و مدیریت بهینه کودی*. چاپ اول. اصفهان: مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
- رحیمی جهانگیرلو، مریم. (۱۳۹۹). راهبردهای زراعی، اصلاحی و فناوری‌های هوشمند برای کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان. *علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی*، ۳ (۲)، ۳۱-۴۱.
- سماوات، سعید؛ طهرانی، محمد مهدی؛ بازرگان، کامبیز و بصیرت، مجید. ۱۳۸۷. دستورالعمل نحوه‌ی بررسی مواد آلی. تهیه شده در بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه.
- علیزاده، امید؛ مجیدی، اسلام و نورمحمدی، قربان. (۱۳۸۷). تاثیر تنش خشکی و میزان نیتروژن خاک بر جذب عناصر غذایی در ذرت رقم ۷۰۴. *مجله پژوهش در علوم کشاورزی*، ۴ (۱)، ۵۹-۵۱.
- ملکوتی محمد جعفر. (۱۳۹۳). توصیه‌ی بهینه‌ی مصرف کود برای محصولات کشاورزی در ایران. انتشارات مبلغان. ۳۴۸ صفحه.

REFERENCES

- Akhtar, J., Galloway, A. F., Nikolopoulos, G., Field, K. J., & Knox, P. (2018). A quantitative method for the high throughput screening for the soil adhesion properties of plant and microbial polysaccharides and exudates. *Plant and Soil*, 428, 57-65. DOI: 10.1007/s11104-018-3670-1.

- Albalasmeh, A. A., & Ghezzehei, T. A. (2014). Interplay between soil drying and root exudation in rhizosheath development. *Plant and Soil*, 374, 739-751. DOI: 10.1007/s11104-013-1910-y.
- Alizadeh, A., Majidi, A., & Noormohammadi, G. (2008). The effect of drought stress and soil nitrogen on the nutrients uptake in corn (cultivar, 704). *Journal of Research in Agricultural Science*, 4 (1), 51-59. (In Persian).
- Anderson, G. (2009). Seaweed extract shows improved fruit quality at McLaren Vale vineyard trial. *Australian and New Zealand Grape Grower and Winemaker*, (548), 17-22.
- Basirat, M., Mousavi, S. M., Abbaszadeh, S., Ebrahimi, M., & Zarebanadkouki, M. (2019). The rhizosheath: a potential root trait helping plants to tolerate drought stress. *Plant and Soil*, 445(1), 565-575. DOI:10.1007/s11104-019-04334-0.
- Benard, P., Zarebanadkouki, M., Brax, M., Kaltenbach, R., Jerjen, I., Marone, F., ... & Carminati, A. (2019). Microhydrological niches in soils: How mucilage and EPS alter the biophysical properties of the rhizosphere and other biological hotspots. *Vadose Zone Journal*, 18(1), 1-10. DOI.org/10.2136/vzj2018.12.0211.
- Benard, P., Zarebanadkouki, M., Hedwig, C., Holz, M., Ahmed, M. A., & Carminati, A. (2018). Pore-scale distribution of mucilage affecting water repellency in the rhizosphere. *Vadose Zone Journal*, 17 (1), 1-9. DOI.org/10.2136/vzj2017.01.0013.
- Black, C. A., Evans, D. D., White, J. L., Ensminger, L. E., and Clark, F. E. (1965). Methods of soil analysis, part 2, Chemical and microbiological properties. *Amer. Soc. Agr. Inc. Publisher Agro. Series 9*. DOI:10.2134/agronmonogr9.2.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal*, 54(5), 464-465. DOI.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x.
- Bristow, C. E., Campbell, G. S., Wullstein, L. H., & Neilson, R. (1985). Water uptake and storage by rhizosheaths of *Oryzopsis hymenoides*: a numerical simulation. *Physiologia Plantarum*, 65(3), 228-232. DOI.org/10.1111/j.1399-3054.1985.tb02387.x.
- Brown, L. K., George, T. S., Neugebauer, K., & White, P. J. (2017). The rhizosheath a potential trait for future agricultural sustainability occurs in orders throughout the angiosperms. *Plant and Soil*, 418(1), 115-128. DOI:10.1007/s11104-017-3220-2.
- Burak, E., Quinton, J. N., & Dodd, I. C. (2021). Root hairs are the most important root trait for rhizosheath formation of barley (*Hordeum vulgare*), maize (*Zea mays*) and Lotus japonicus (Gifu). *Annals of Botany*, 128(1), 45-57. DOI.org/10.1093/aob/mcab029.
- Carminati, A., Moradi, A. B., Vetterlein, D., Vontobel, P., Lehmann, E., Weller, U., & Oswald, S. E. (2010). Dynamics of soil water content in the rhizosphere. *Plant and soil*, 332, 163-176. DOI:10.1007/s11104-010-0283-8.
- Carminati, A., P. Benard, M.A. Ahmed, and M. Zarebanadkouki. (2017). Liquid bridges at the root-soil interface. *Plant and Soil*, 417:1-15. DOI:10.1007/s11104-017-3227-8.
- Carminati, A., Schneider, C. L., Moradi, A. B., Zarebanadkouki, M., Vetterlein, D., Vogel, H. J., & Oswald, S. E. (2011). How the rhizosphere may favor water availability to roots. *Vadose Zone Journal*, 10(3), 988-998. DOI:10.2136/vzj2010.0113.
- Chapman, H. D., & Pratt, F. P. (1961). Ammonium vandate-molybdate method for determination of phosphorus. *Methods of analysis for soils. Plants and water*, 1, 184-203.
- Cheraghi, M., Mousavi, S. M., & Zarebanadkouki, M. (2023). Functions of rhizosheath on facilitating the uptake of water and nutrients under drought stress: A review. *Plant and Soil*, 1-25. DOI:10.1007/s11104-023-06126-z.
- Cheraghi, M., Motesharezadeh, B., Mousavi S. M., Basirat, M., Alikhani, H. A., & Zarebanadkouki, M. (2024). Application of silicon improves rhizosheath formation, morpho-physiological and biochemical responses of wheat under drought stress. *Plant & Soil*, DOI: 10.1007/s11104-024-06584-z.
- Delhaize E, James RA, Ryan PR. 2012. Aluminum tolerance of root hairs underlies genotypic differences in rhizosheath size of wheat (*Triticum aestivum*) grown on acid soil. *New Phytologist*, 195: 609-619. DOI.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04183.x.
- Delhaize E, Rathjen TM, Cavanagh CR (2015).The genetics of rhizosheath size in a multiparent mapping



- population of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 66:4527–4536. DOI:10.1093/jxb/erv223.
- Fang, Y., & Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72, 673–689.
- Gardner, W. R. (1960). Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Science*, 89(2), 63–73. DOI.org/10.1146/annurev.pp.16.060165.001543.
- George, T. S., Brown, L. K., Ramsay, L., White, P. J., Newton, A. C., Bengough, A. G., & Thomas, W. T. (2014). Understanding the genetic control and physiological traits associated with rhizosheath production by barley (*Hordeum vulgare*). *New Phytologist*, 203(1), 195–205. DOI:10.1111/nph.12786.
- Haling RE, Brown LK, Bengough AG, Valentine TA, White PJ, Young IM, George TS. (2014). Root hair length and rhizosheath mass depend on soil porosity, strength and water content in barley genotypes. *Planta*, 239:643–651. DOI:10.1007/s00425-013-2002-1.
- Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5, 551–574. DOI.org/10.2136/sssabookser5.3.c19.
- Jajromi, V (2012). Effect of drought stress on germination indices in seven wheat cultivars (*T. aestivum* L.). *Journal of Plant Breeding and Breeding*, 8(4), 192–183. (In Persian).
- Khoshgoftarmanesh, A. H. (2007). Evaluation of plant nutrition status and optimal fertilizer management. First Edition. *Isfahan: Publishing Center of Isfahan University of Technology*. (In Persian).
- Lynch, J. P. (2013). Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Annals of Botany*, 112(2), 347–357.
- Liu, T. Y., Ye, N., Song, T., Cao, Y., Gao, B., Zhang, D., & Zhang, J. (2019). Rhizosheath formation and involvement in foxtail millet (*Setaria italica*) root growth under drought stress. *Journal of Integrative Plant Biology*, 61(4), 449–462. DOI: 10.1111/jipb.12716.
- Liu, T.Y., Chen, M.X., Zhang, Y., Zhu, F.Y., Liu, Y.G., Tian, Y., Fernie, A.R., Ye, N. and Zhang, J. (2019). Comparative metabolite profiling of two switchgrass ecotypes reveals differences in drought stress responses and rhizosheath weight. *Planta*, 250, 1355–1369. DOI: 10.1007/s00425-019-03228-w.
- Liu, T.Y., Ye, N., Wang, X., Das, D., Tan, Y., You, X., Long, M., Hu, T., Dai, L., Zhang, J. and Chen, M.X. (2021). Drought stress and plant ecotype drive microbiome recruitment in switchgrass rhizosheath. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(10), 1753–1774. DOI: 10.1111/jipb.13154.
- Malakouti, M. J. (2014). Optimum recommendation of fertilizer use for agricultural products in Iran. *Mobaleghan Publisher*, Iran. (In Persian).
- Marasco, R., Mosqueira, M. J., Fusi, M., Ramond, J. B., Merlino, G., Booth, J. M., ... & Daffonchio, D. (2018). Rhizosheath microbial community assembly of sympatric desert speargrasses is independent of the plant host. *Microbiome*, 6(1), 1–18. doi: 10.1186/s40168-018-0597-y.
- McCully, M. E., & Boyer, J. S. (1997). The expansion of maize root-cap mucilage during hydration. 3. Changes in water potential and water content. *Physiologia Plantarum*, 99(1), 169–177. DOI.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb03445.x.
- Mo, X., Wang, M., Zeng, H., & Wang, J. (2023). Rhizosheath: Distinct features and environmental functions. *Geoderma*, 435, 116500. DOI.org/10.1016/j.geoderma.2023.116500.
- Ndour, P. M. S., Heulin, T., Achouak, W., Laplaze, L., & Cournac, L. (2020). The rhizosheath: from desert plants adaptation to crop breeding. *Plant and Soil*, 456 (1–2), 1–13. DOI:10.1007/s11104-020-04700-3.
- North, G. B., & Nobel, P. S. (1997). Drought-induced changes in soil contact and hydraulic conductivity for roots of *Opuntia ficus-indica* with and without rhizosheaths. *Plant and Soil*, 191(2), 249–258. DOI:10.1023/A:1004213728734.
- Oburger E & Jones DL. (2018). Sampling root exudates – mission impossible? *Rhizosphere*, 6: 116–133. DOI:10.1016/j.rhisph.2018.06.004.
- Olsen, S. R., V. Cole, F. S. Watanabe, L. A. Dean. (1954). Estimations of available phosphorus in soils by extractions with sodium bicarbonate. *Washington, DC: United States Department of Agriculture*. 939–41.
- Pang, J., Ryan, M. H., Siddique, K. H., & Simpson, R. J. (2017). Unwrapping the rhizosheath. *Plant and Soil*, 418(1), 129–139. DOI:10.1007/s11104-017-3358-y.
- Pinton, R., Varanini, Z., & Nannipieri, P. (2001). The rhizosphere as a site of biochemical interactions among

soil components, plants, and microorganisms. *Basel, New York*.

- Pirzad, A.R., Shakiba, M.R., Salmasi, S., Z., and Mohammadi, S. (2012). Effect of water stress on absorption of some nutrients in German chamomile. *Journal of Agriculture*, 28(106), 1-7. DOI: 10.22092/AJ.2015.105662. (In Persian).
- Rahimi Jahangirlou, m. (2021). Agronomic and Breeding Strategies and Smart Technologies for Mitigating Drought Stress Impacts on Crop Plants. *Agricultural Information Science and Technology*, 3(2), 31-41. DOI:10.22092/AISTJ.2022.356373.1053. (In Persian).
- Read, D.B., P.J. Gregory, and A.E. Bell. (1999). Physical properties of axenic maize root mucilage. *Plant & Soil*, 211:87-91.
- Richards, L. A. (1947). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. *Soil science*, 64(5), 432. DOI.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x.
- Samavat, S. (2007). Report on the status of the organic matter of the Iran's soils. *Soil & Water Research Institute, Karaj, Iran*. (In Persian)
- Sharp, R.E., Poroyko, V., Hejlek, L.G., Spollen, W.G., Springer, G.K., Bohnert, H. J., & Nguyen, H. T. (2004). Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2343-2351.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). Chromic acid titration for determination of soil organic matter. *Soil Science*, 63(4), 251. DOI.org/10.1097/00010694-193401000-00003.
- Watt, M., McCully, M. E., & Canny, M. J. (1994). Formation and stabilization of rhizosheaths of *Zea mays* L. (Effect of soil water content). *Plant Physiology*, 106(1), 179-186. DOI: 10.1104/pp.106.1.179.
- Wen, Z., Pang, J., Ryan, M. H., Shen, J., Siddique, K. H., & Lambers, H. (2021). In addition to foliar manganese concentration, both iron and zinc provide proxies for rhizosheath carboxylates in chickpea under low phosphorus supply. *Plant and Soil*, 465 (1-2), 31-46. DOI: 10.1007/s11104-021-04988-9.
- Xu, F., Liao, H., Zhang, Y., Yao, M., Liu, J., Sun, L., & Xu, W. (2022). Coordination of root auxin with the fungus *Piriformospora indica* and bacterium *Bacillus cereus* enhances rice rhizosheath formation under soil drying. *The ISME Journal*, 16(3), 801-811. DOI: 10.1038/s41396-021-01133-3.
- Young, I. M. (1995). Variation in moisture contents between bulk soil and the rhizosheath of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Wembley). *New Phytologist*, 130(1), 135-139. DOI:10.1111/j.1469-8137.1995.tb01823.x.
- Zarebanadkouki, M., Fink, T., Benard, P., & Banfield, C. C. (2019). Mucilage facilitates nutrient diffusion in the drying rhizosphere. *Vadose Zone Journal*, 18(1), 1-13. DOI.org/10.2136/vzj2019.02.0021.
- Zeng, Q., & Brown, P. H. (2000). Soil potassium mobility and uptake by corn under differential soil moisture regimes. *Plant and Soil*, 221(2), 121-134. DOI: 10.1023/A: 1004738414847.
- Zhang, Y., Du, H., Gui, Y., Xu, F., Liu, J., Zhang, J., & Xu, W. (2020). Moderate water stress in rice induces rhizosheath formation associated with abscisic acid and auxin responses. *Journal of Experimental Botany*, 71(9), 2740-2751. DOI.org/10.1093/jxb/eraa021.
- Zhang, Y., Du, H., Xu, F., Ding, Y., Gui, Y., Zhang, J., & Xu, W. (2020). Root-bacteria associations boost rhizosheath formation in moderately dry soil through ethylene responses. *Plant Physiology*, 183(2), 780-792. DOI: 10.1104/pp.19.01020.



Rhizosheath formation and its effect on potassium uptake in different cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress

EXTENDED ABSTRACT

Background:

Drought stress is the most common (abiotic) environmental stress that limits the crop production of approximately 25% of the world's agricultural lands. 85% of Iran's area includes arid and semi-arid areas. Therefore, drought and lack of water has always been one of the most important problems of agriculture in Iran. Rhizosheath as a potential adaptive trait can adjust the effects of drought stress by maintaining moisture, and have a positive effect on the uptake of water and nutrients by the plant. The present study was conducted to compare the formation of rhizosheath in different wheat cultivars and its effect on potassium uptake by the plant under drought stress conditions.

Materials & Methods:

For this reason, four wheat cultivars, Mihan and Sirvan (irrigated cultivars), and Sadra and Rizhaw (rainfed cultivars) were used. First, the pots were divided into four groups of ten, each group belonging to one cultivar, and in each cultivar, two moisture levels (optimum and stress) were applied. After seeds planting and establishing in the soil (the third week), drought stress was started in the pots. Then, ten weeks of the seeds planting, harvesting of the shoots and roots of the plants and separating the rhizosheath of each pot was done and desired characteristics were determined. In order to determine the transpiration rate of each variety in the last five days before harvesting, all the pots were weighed twice a day (9 am and 3 pm).

Results:

In drought stress conditions, the maximum and minimum transpiration rate was measured in Rizhaw (0.79 g/h) and Mihan (0.74 g/h) cultivars, respectively. The maximum value of shoot to root dry weight under drought stress belonged to Sirvan (3.61 g/g) and the minimum value was seen in Rizhaw (1.76 g/g). The highest ratio of the rhizosheath dry weight to the root dry weight under stress conditions was observed in Rizhaw (69.22 g/g) and the lowest value was observed in Sadra (60.46 g/g). The highest and lowest value of potassium in the plant under drought stress was obtained in Rizhaw (30.73 mg/pot) and Sirvan (28.73 mg/pot) cultivars, respectively. The maximum value of available potassium in rhizosheath under drought stress was measured in Mihan (147.45 mg kg⁻¹) and the minimum value in Rizhaw (134.07 mg kg⁻¹).

Conclusion:

According to the results, there was no significant difference between the cultivars in rhizosheath formation under drought stress conditions, and all of them had the same and high ability to form rhizosheath, and as a result, they were able to act similar in potassium absorption at this condition. Also, different cultivars had similar transpiration rates under drought stress due to the same ability to form rhizosheath. Further studies are recommended with different wheat cultivar and other agronomic and horticultural crops.

Keywords: Rhizosheath, Rizhaw, Sirvan, Water Deficit.